

- **Phase 1** : Capitalisation des **connaissances** à l'échelle du bassin versant de la Loire
- **Phase 2** : Détermination des éléments de **mise en œuvre de la solution** « zone d'expansion de crues », en réponse au risque inondation à l'échelle du bassin versant de la Loire
- **Phase 3** : **Anticipation opérationnelle** sur 14 sites sélectionnés
- **Phase 4** : Identification des pistes existantes dans le registre des **solutions fondées sur la nature** et des infrastructures vertes, en particulier celles contribuant à la réduction du risque inondation au-delà du bassin versant de la Loire



## Définition

On entend comme zones naturelles d'expansion des crues, les zones « définies » comme suit par la circulaire du 24 janvier 1994 : secteurs **peu ou pas urbanisés, peu aménagés** et présentant une **capacité de stockage important**.

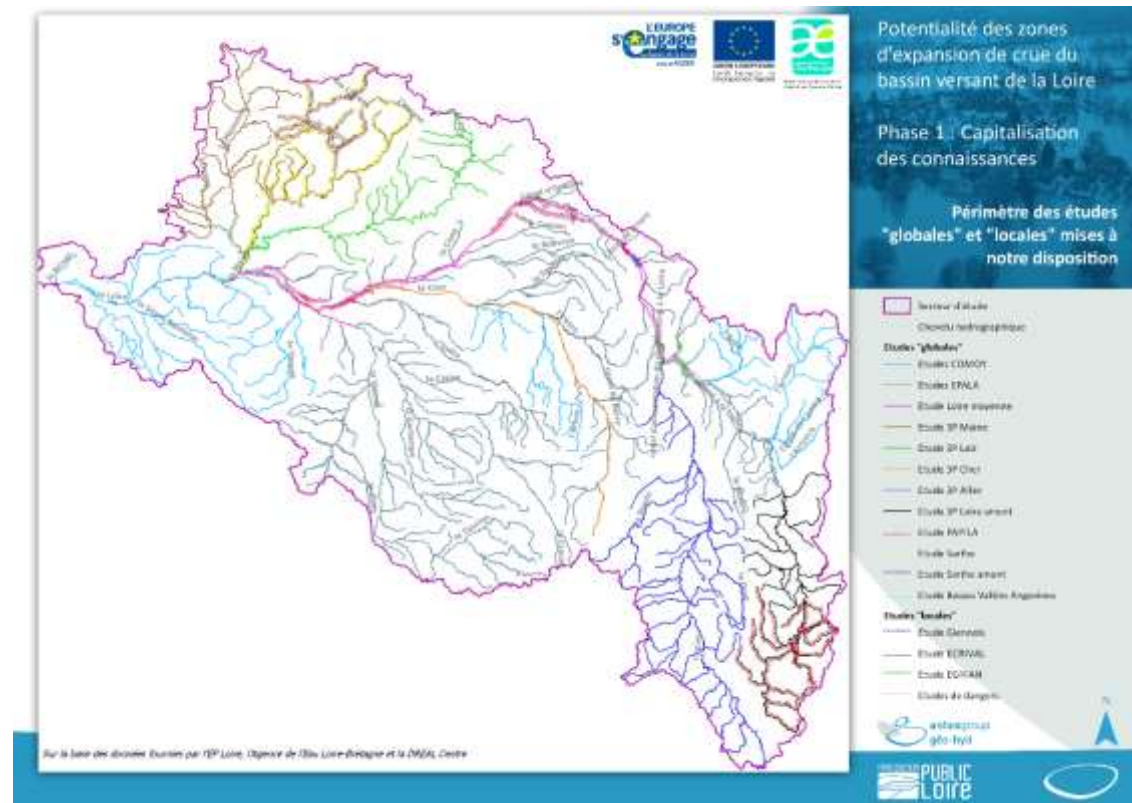
Selon cette circulaire, « *elles jouent un rôle déterminant en **réduisant momentanément le débit** à l'aval, mais en **allongeant la durée de l'écoulement**. [...] Ces zones d'expansion jouent aussi le plus souvent un rôle important dans la structuration du paysage et l'équilibre des écosystèmes* ».

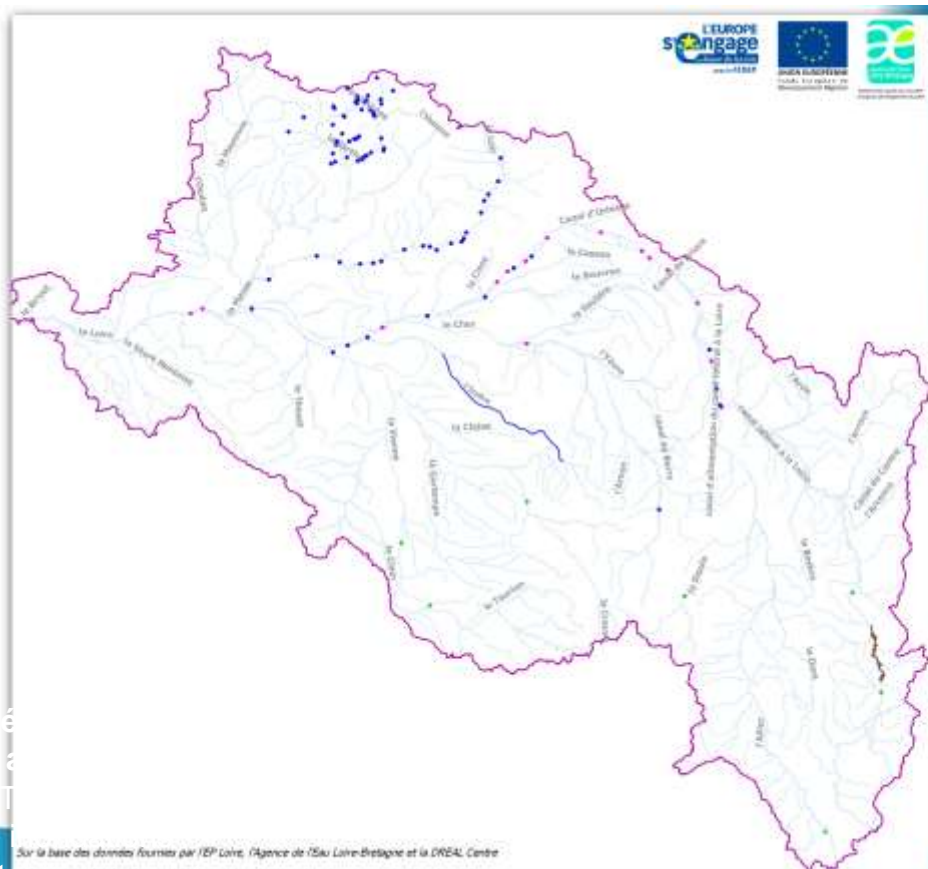
## Phase 1 : Capitalisation des connaissances à l'échelle du bassin versant de la Loire

**Analyse et une valorisation d'études** : « globales » d'une part (celles de l'ingénieur Comoy de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, de l'EPALA des années 1980, de « Loire Moyenne » des années 1990, « 3P » (Prévision, Prévention et Protection) de la Maine, du Loir, de l'Allier et de la Loire Amont, « PAPILA » (Programme d'Actions de Prévention des Inondations Loire Amont), Sarthe et Sarthe amont, etc.) ; « locales » d'autre part (PPRI, TRI, études de dangers, études de vals, etc.).

Plus de **60 références** ont ainsi pu être consultées.

Relativement bonne couverture à l'échelle de l'ensemble du bassin.





Potentialité des zones  
d'expansion de crue du  
bassin versant de la Loire

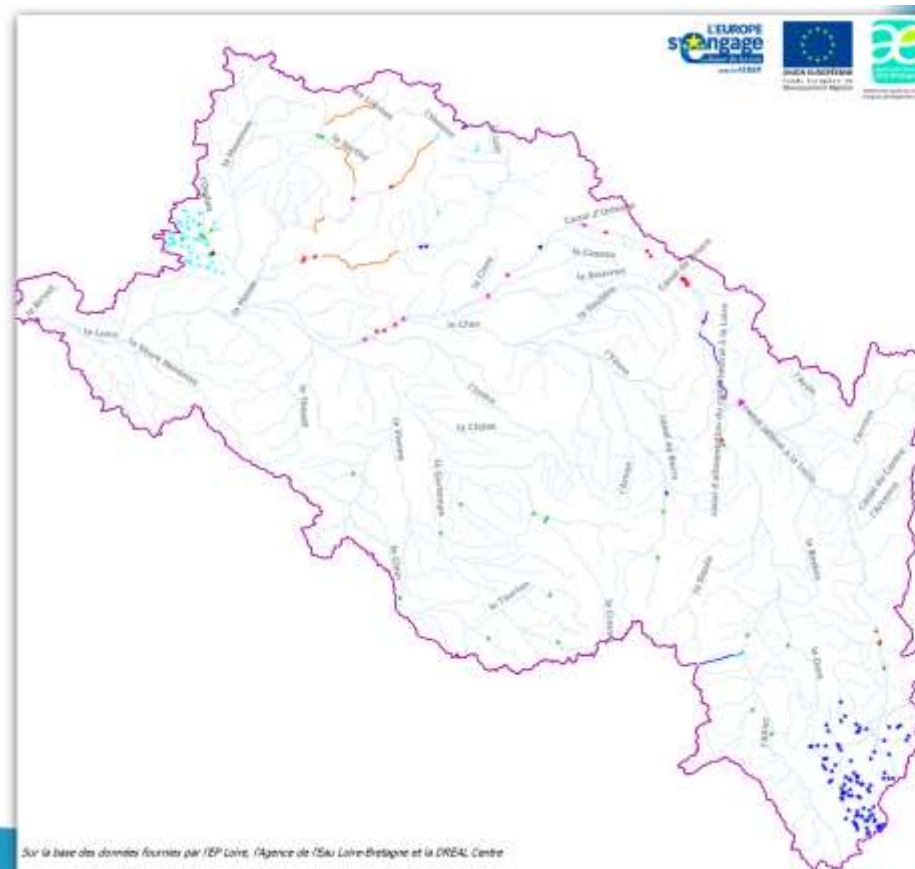
Phase 1 : Capitalisation  
des connaissances

Synthèse des principaux  
aménagement s existant s sur le  
bassin versant

- Secteur d'étude
- Chemin hydrographique
- Aménagements existants
  - barrage
  - déversoir
  - gravière
  - ZEC

antea group  
glo-hyd

ETABLISSEMENT PUBLIC  
LOIRE



Potentialité des zones  
d'expansion de crue du  
bassin versant de la Loire

Phase 1 : Capitalisation  
des connaissances

Synthèse des principaux  
aménagement s envisagé s sur  
le bassin versant

- Secteur d'étude
- Chemin hydrographique
- Aménagements envisagés
  - usure
  - barrage
  - déversoir
  - effacement ouvrage en remblai
  - raccourcissement cours d'eau / gravière
  - retenue sèche
  - ZEC potentielle
  - levées existantes
  - ZEC

antea group  
glo-hyd

ETABLISSEMENT PUBLIC  
LOIRE

Synthèse des principaux aménagements (plus de 400 : barrage, déversoir, gravière, retenue sèche, ZEC potentielle, autres) mis en évidence via les études exploitées, à la fois ceux existants et ceux envisagés

## Phase 2 vise à :

- **identifier** les zones naturelles d'expansion des crues par le biais d'une analyse des différentes couches d'informations, données et études disponibles,
- **classifier et hiérarchiser** ces zones en fonction de leur potentiel ainsi que de la faisabilité de leur préservation ou aménagement.

- **Méthodologie globale de la phase 2**
  - 1. délimitation du secteur d'étude : **définition d'un aléa de référence**,
  - 2. détermination des **zones d'enjeux** sensibles aux inondations,
  - 3. qualification des **zones d'expansions de crue aptes à protéger** les zones à enjeux,
  - 4. **classification** des zones d'expansions de crue en prévision des phases suivantes de l'étude
  
- **Identification des zones inondables importantes**
  - cours d'eau de plus de 30 km (soit 20 000 km à l'échelle du bassin versant de la Loire),
  - données sources disponibles :
    - **Canaux et retenues** : aléa pas défini,
    - **TRI** : aléa moyen, généralement de fréquence centennale,
    - **PPRI** : aléa de fréquence centennale ou évènement historique,
    - **AZI** : aléa proche centennal ou historique,
    - **BD Lisa** : dépôts alluvionnaires,
    - **BD Alti 75** : indice topographique de position.

### Quid des secteurs non couverts par des TRI, PPRI ou AZI ?

Lorsque des emprises de zones inondables sont disponibles, elles ont été utilisées, en privilégiant une **fréquence centennale**.

Sur les cours d'eau d'une longueur d'au moins 30 km sans données d'aléa → utilisation d'autres données pour délimiter une ZI potentielle :

- **emprise des alluvions** : témoins d'un passage, éventuellement ancien, du cours d'eau. Cette information est généralement disponible dans la base hydrogéologique BD Lisa
- **topographie** : permet de délimiter physiquement le lit majeur. Cette limite est nette dans le cas de vallées relativement encaissée, mais peut être sujette à interprétation en cas de bordure moins marquée (large plaine)

La base de données BD Carthage a été utilisée pour déterminer les tronçons de cours d'eau qui ne sont pas couverts par une zone inondable (TRI, PPRI, AZI).

Les rivières de plus de 30 km ont été retenues pour la recherche d'informations hydrogéologiques et topographiques : la fiabilité des données est largement dégradée sur des cours d'eau de taille inférieure. Les canaux ont été retirés de la liste.

Sur les 20 000 km de rivières de plus de 30 km, 10 000 km (50 %) ne sont pas couverts par une zone inondable définie des PPRI, des TRI ou des AZI.



Synthèse : sur la moitié du chevelu hydrographique présentant une longueur supérieure à 30 km, l'aléa inondation provient de données de zones inondables (TRI, PPRI, AZI) ; l'autre moitié a été déterminée en utilisant des indices hydrogéologiques ou topographiques.

Classe de cours d'eau	Longueur en km				%			
	30-50km	50-100 km	>100km	Total	30-50km	50-100 km	>100km	Total
Retenues	-	0	36	36	0%	0%	0%	0%
TRI	125	30	575	730	2%	1%	7%	4%
PPRI	482	627	3 032	4 141	7%	12%	37%	20%
AZI	1 203	1 653	2 463	5 319	16%	32%	30%	26%
<b>Zones inondables</b>	<b>1 810</b>	<b>2 311</b>	<b>6 105</b>	<b>10 226</b>	<b>25%</b>	<b>44%</b>	<b>74%</b>	<b>49%</b>
BD Lisa	3 965	2 031	834	6 830	54%	39%	10%	33%
Topographie	1 417	794	1 135	3 346	19%	15%	14%	16%
<b>alluvions / topographie</b>	<b>5 383</b>	<b>2 825</b>	<b>1 969</b>	<b>10 176</b>	<b>73%</b>	<b>54%</b>	<b>24%</b>	<b>49%</b>
Non retenu	162	87	181	431	2%	2%	2%	2%
<b>Total général</b>	<b>7 355</b>	<b>5 223</b>	<b>8 255</b>	<b>20 833</b>				
	35%	25%	40%					



- **Enjeux fortement vulnérables**
  - Habitat (3 classes de densité)
  - Infrastructures routières (enjeux et structuration possible des ZEC)
  - Zones d'activités économiques
  - Autres enjeux industriels (ICPE, autres infrastructures)
  - Cultures à forte valeur ajoutée (vignobles, arboriculture)
- **Enjeux acceptant mieux l'inondation**
  - Zones humides (déclarées comme telles)
  - Prairies (permanentes)
  - Zones boisées
  - Autres parcelles cultivées (grande culture en majorité)

▪ ***Utilisation du zonage Corine Land Cover et conversion de tout le bassin versant en mailles de 75 m***

*homogénéité à l'échelle du bassin versant de la Loire*

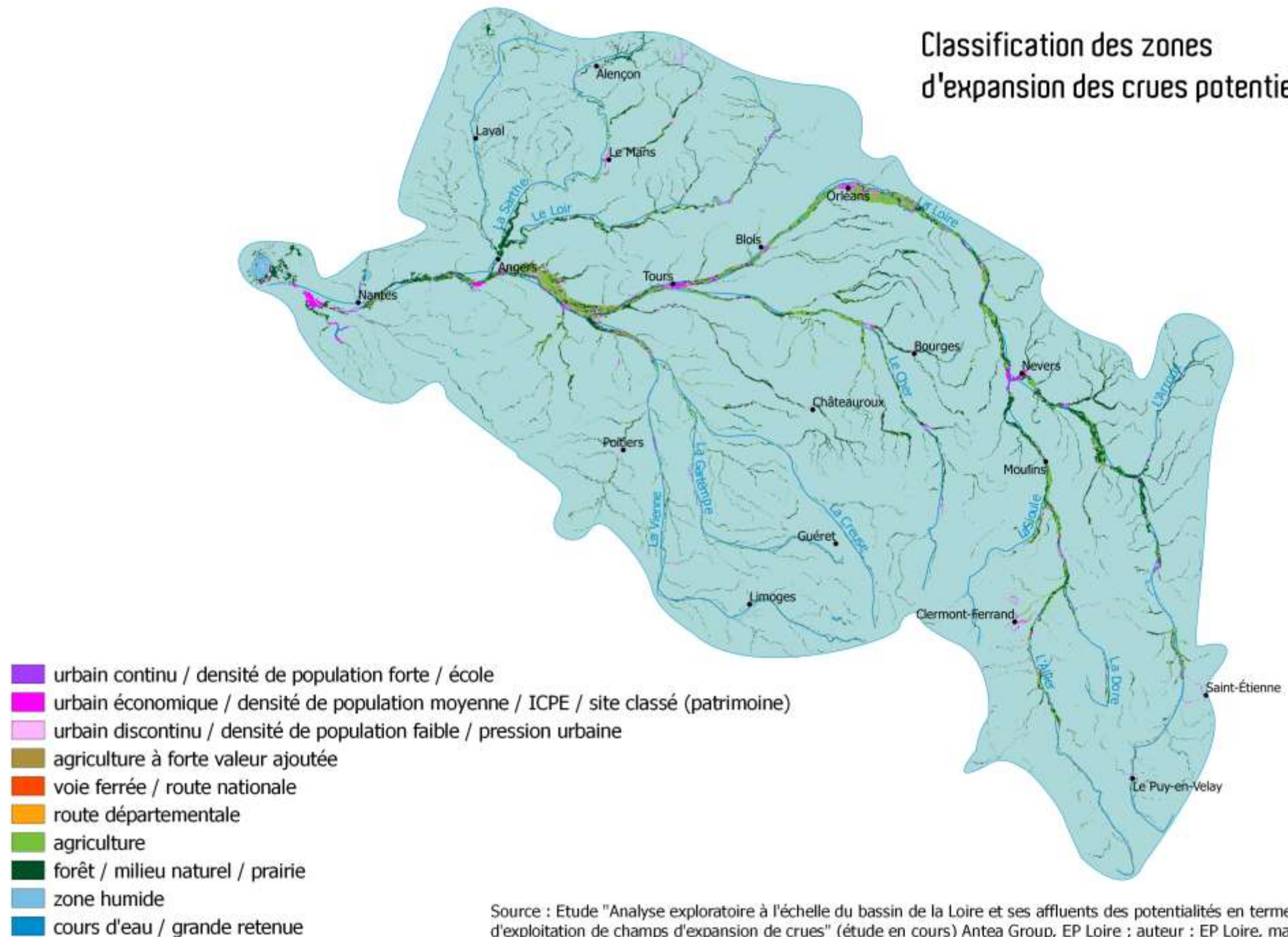
# Identification de la potentialité de chaque maille d'être une ZEC potentielle

	Classe enjeux	Valeur	Source	Prise en compte
OCCUPATION DU SOL	Urbain continu	0	Corine Land Cover	Si urbain continu >10% de maille
	Urbain économique	1	Corine Land Cover	Si urbain continu+éco >10% de maille
	Urbain discontinu	2	Corine Land Cover	Si urbain >10% de maille
	Agriculture Forte Valeur Ajoutée	3	Corine Land Cover	Si urbain + agriculture FVA >10% de maille
	Agriculture	9	Corine Land Cover	Classe la plus représentée, sous réserve que Urbain + agriculture FVA <10% de maille
	Forêts, milieux naturels	10	Corine Land Cover	
	Prairies	10	Corine Land Cover	
Zones humides	11	Corine Land Cover		
Cours d'eau et grandes retenues	20	Corine Land Cover		
			<i>Les cours d'eau et grandes retenues ne seront pas considérées comme des ZEC</i>	
POPU.	Densité de population forte	0	Car200INSEE+BDTopo	Si densité en ZI > 15hab/ha
	Densité de population moyenne	1	Car200INSEE+BDTopo	Si densité en ZI entre 3 et 15hab/ha
	Densité de population faible	2	Car200INSEE+BDTopo	Si densité en ZI < 3hab/ha
AUTRE	Ecoles	0	Ministere de l'éducation	Si école dans maille
	ICPE	1	GeoRisques	Si ICPE dans maille
	Site classé (patrimoine)	1	MEDD	Si site classé dans maille
	Pression urbaine	2	Corine Land Cover	Si maille classée en prairie ou grande culture ET en bordure de zone urbaine
	Voie ferrée	5	BDTopo	Si voie ferrée dans maille
	Route nationale	5	BDTopo_importance1	Si réseau routier d'importance nationale dans maille
Route départementale	6	BDTopo_importance2	Si réseau routier d'importance départementale dans maille	

→ Application d'une note de potentialité de ZEC à chaque maille de 75 m

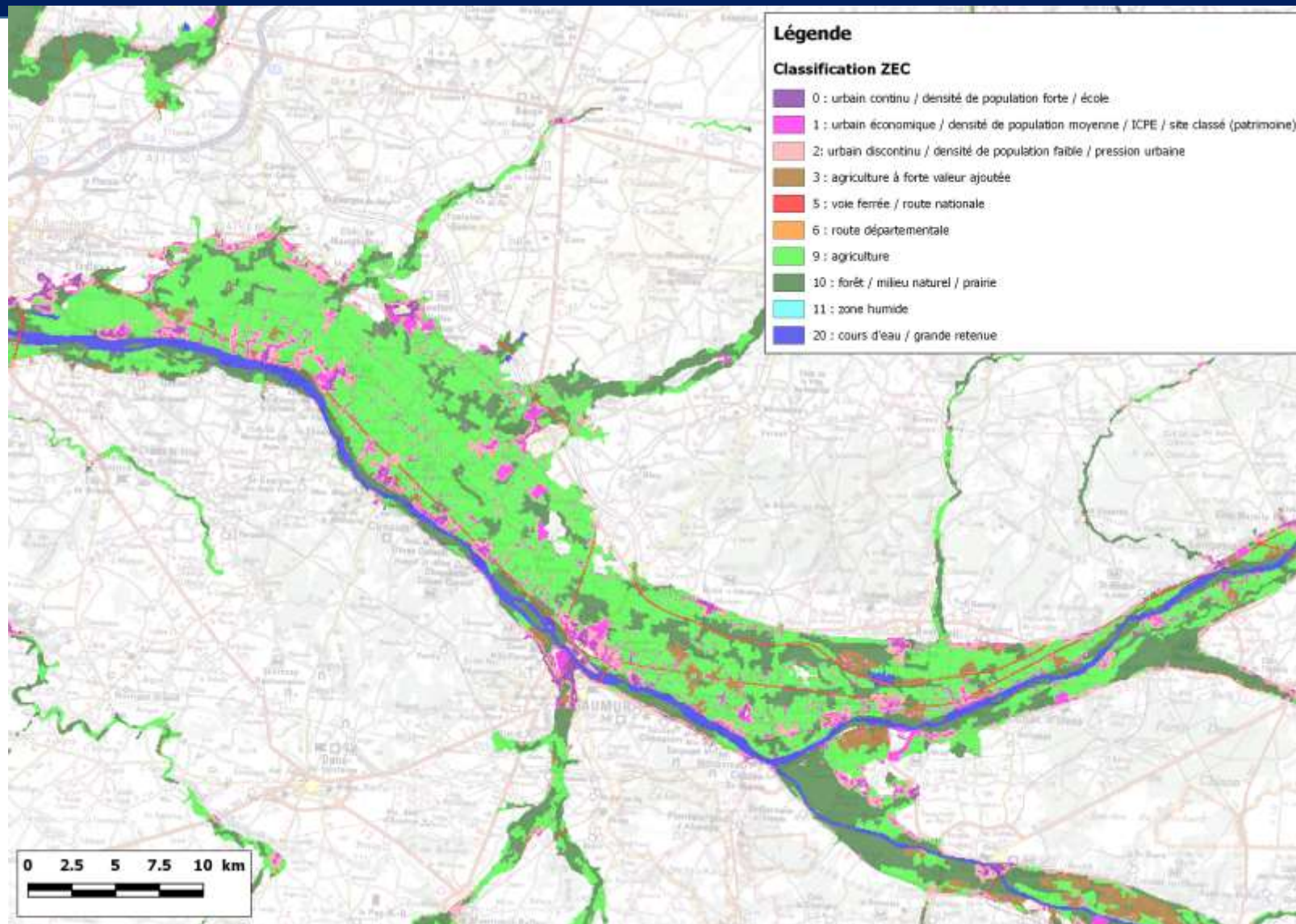
Occupation des sols	Définition	Note affectée si la part de la maille occupée par le type = 100%	Classe de la nomenclature Corine Land Cover <sup>2</sup>
Zone humide	ZEC très favorable	11	41, 42
Prairie - Bois	ZEC favorable	10	231, 244, 31, 32, 33
Grandes cultures	ZEC envisageable	9	21
Zones de cultures complexes	ZEC possible sous réserve	6	241, 242, 243
Zone agricole à haute valeur ajoutée et occupation humaine de loisirs	ZEC peu favorable	3	14, 22, 241
Zones faiblement urbanisées	ZEC peu favorable	2	112
Zones moyennement urbanisées	ZEC très peu favorable	1	111, 12, 13
Zones densément urbanisées	Non ZEC	0	111

## Classification des zones d'expansion des crues potentielles



Source : Etude "Analyse exploratoire à l'échelle du bassin de la Loire et ses affluents des potentialités en termes d'exploitation de champs d'expansion de crues" (étude en cours) Antea Group, EP Loire ; auteur : EP Loire, mars 2017





**Objectif : faire émerger les zones favorables à l'expansion des crues de celles regroupant des enjeux.**

- Regroupement des mailles contiguës avec une note de 9 à 11 (zones agricoles, bois, prairies, zones humides)
  - Délimitation par cours d'eau, digues, voiries, zones bâties
  - Délimitation par verrous morphologiques (manuelle)
  - Plus de 6 000 zones « ZEC » individualisées
- **Découpage automatisé (à 95 %)**
    - Conserver l'objectivité
    - Test de robustesse de la méthode
    - Calage comparatif avec projets précédents = cohérence sauf différences d'échelle d'approche

	Nb mailles	km <sup>2</sup>	pourcentage
<b>Total mailles (favorables)</b>	1 301 749	7 322	100 %
<b>ZEC agrégées</b>	958 211	5 390	74 %
<b>Mailles orphelines*</b>	343 538	1 932	26 %

\* Mailles isolées ou appartenant à des tronçons de cours d'eau dont la largeur est inférieure à 2 mailles

Ce découpage produit des espaces de ZEC potentielles dont les surfaces varient de 0,5 ha à 50 300 ha. Le tableau ci-après présente la répartition des surfaces de ZEC potentielles.

Classe de surface	Nombre de ZEC	Surface cumulée (ha)	
0 à 5 ha	2 564	5 463	1 %
5 à 10 ha	911	6 584	1 %
10 à 50 ha	1 612	37 097	7 %
50 à 100 ha	492	35 019	7 %
100 à 500 ha	554	117 364	23 %
500 à 50 300 ha	169	299 462	60 %

*Tableau 6 : Cumul des surfaces totales par classe de surface de ZEC potentielle*

Sur les **6 300** ZEC potentielles déterminées, 2 000 ont une surface inférieure à 3 ha et 2 800 environ ont une surface supérieure à 10 ha. Les 169 plus grandes ZEC potentielles représentent 60 % des surfaces d'écrêtement probables.

Délimiter une ZEC nécessite de :

- se projeter sur ses modalités de fonctionnement (zone naturellement inondable, zone que l'on souhaite surinonder par exemple en s'appuyant sur une infrastructure située en aval voire zone qui peut pour partie être aménagée),
- qualifier la gamme de période de retour de crue pour laquelle elle peut être sollicitée,
- apprécier son acceptabilité (présence d'enjeux de toutes natures au sein de cette dernière ou en périphérie),
- mesurer la faisabilité technique pour un objectif donné,

→ Tentative d'établissement d'une typologie de ZEC potentielles



## Méthodologie mise en œuvre

### ▪ Données utilisées

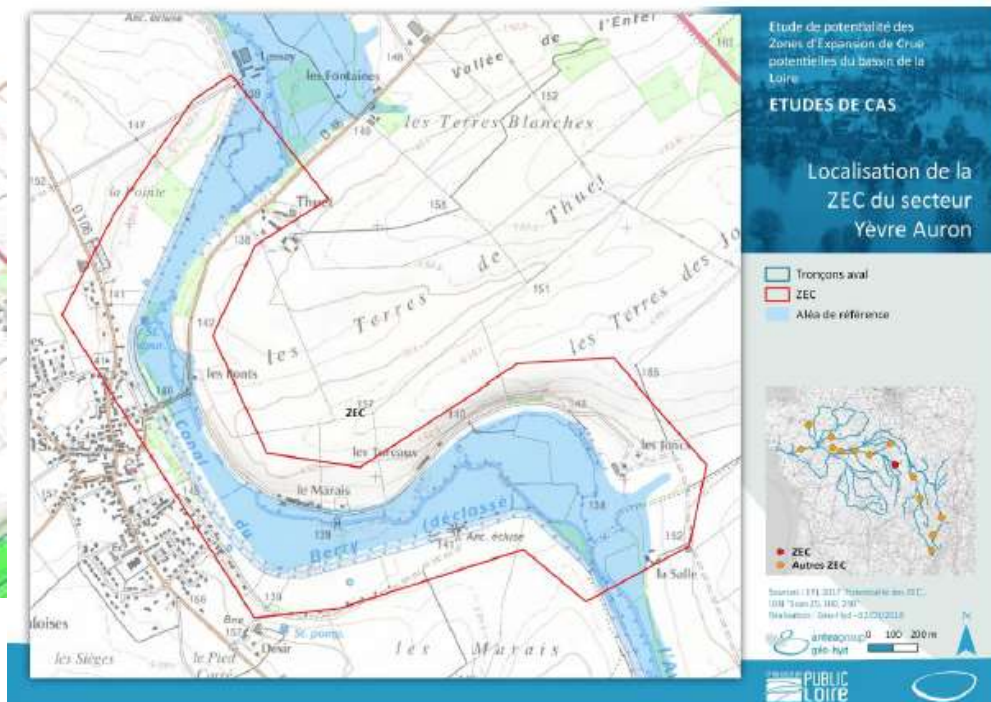
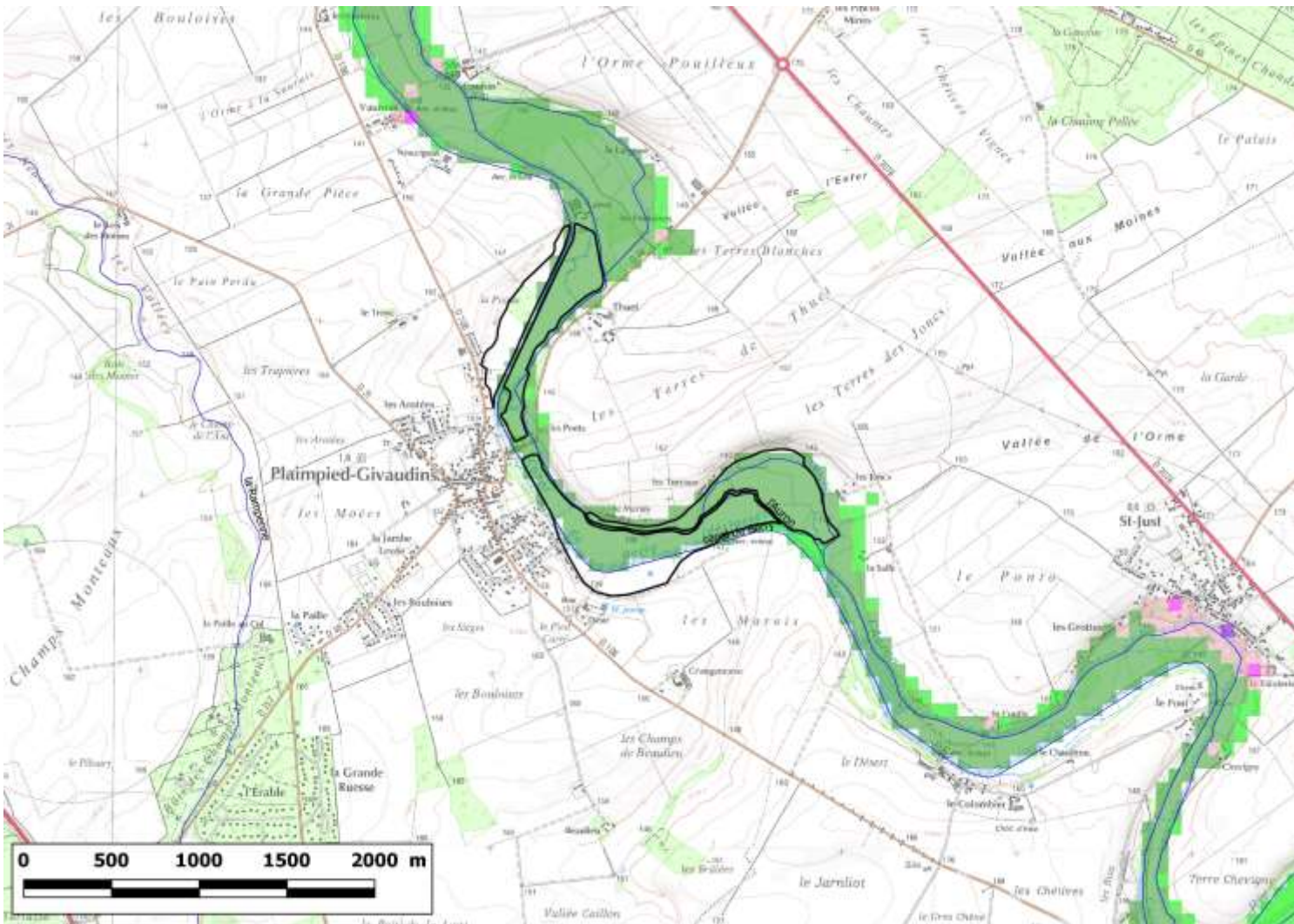
- hauteurs d'eau de la crue de référence correspondant globalement à un aléa de niveau centennal
- nombre de logements issu de la base de données BD Topo
- nombre d'habitants issu de la méthode par carroyage de l'INSEE par maille de 75 m
- nombre d'entreprises et de salariés issu de la base de données GéoSirène
- zones agricoles issu de la base de données Corine Land Cover

### ▪ Adaptation de la méthodologie

- incidence hydraulique de la ZEC potentielle appréciée de manière simplifiée en considérant que toute variation de volume de stockage dans la ZEC potentielle se traduit, en aval, par une variation de hauteur d'eau équivalente à cette variation de volume
  - estimation du gain en aval que pourrait apporter une utilisation accrue de la ZEC potentielle
  - estimation l'impact de la ZEC potentielle en situation actuelle en réduisant les volumes actuellement stockés pour la crue de référence

## Analyse de l'impact des ZEC potentielles par comparaison de volumes

- **Comparaison les dommages calculés en état initial et ceux obtenus en état futur par abaissement ou exhaussement de la ligne d'eau au niveau de la ZEC potentielle et en aval**
  - délimitation de la ZEC potentielle en valorisant les emprises transmises par les différents acteurs locaux
  - « découpage » de la zone d'influence située en aval de la ZEC potentielle en tronçons homogènes sur un linéaire suffisamment conséquent
  - estimation de la hauteur d'eau et du volume pour la crue de référence (état initial) au droit de la ZEC potentielle et de chaque tronçon en aval
  - calcul de hauteurs d'eau et de volumes stockés pour différents abaissements ou exhaussements autour de l'aléa de référence (états modifiés)
  - calcul de dommages pour chaque variation de hauteur d'eau au droit de la ZEC potentielle et des tronçons en aval
  - définition des scénarios étudiés
  - comparaison des gains et pertes au droit de la ZEC potentielle et des tronçons en aval





## Définition de l'aléa

l'aléa étudié valorise les différentes méthodes déterminées dans la phase 2 de l'étude.

Pour la ZEC potentielle, l'aléa a été déterminé via la BD Lisa en utilisant une approche ydrogéomorphologique. En aval, c'est l'indice topographique qui a été utilisé jusqu'au niveau de l'agglomération de Bourges où les données du TRI ont été valorisées.

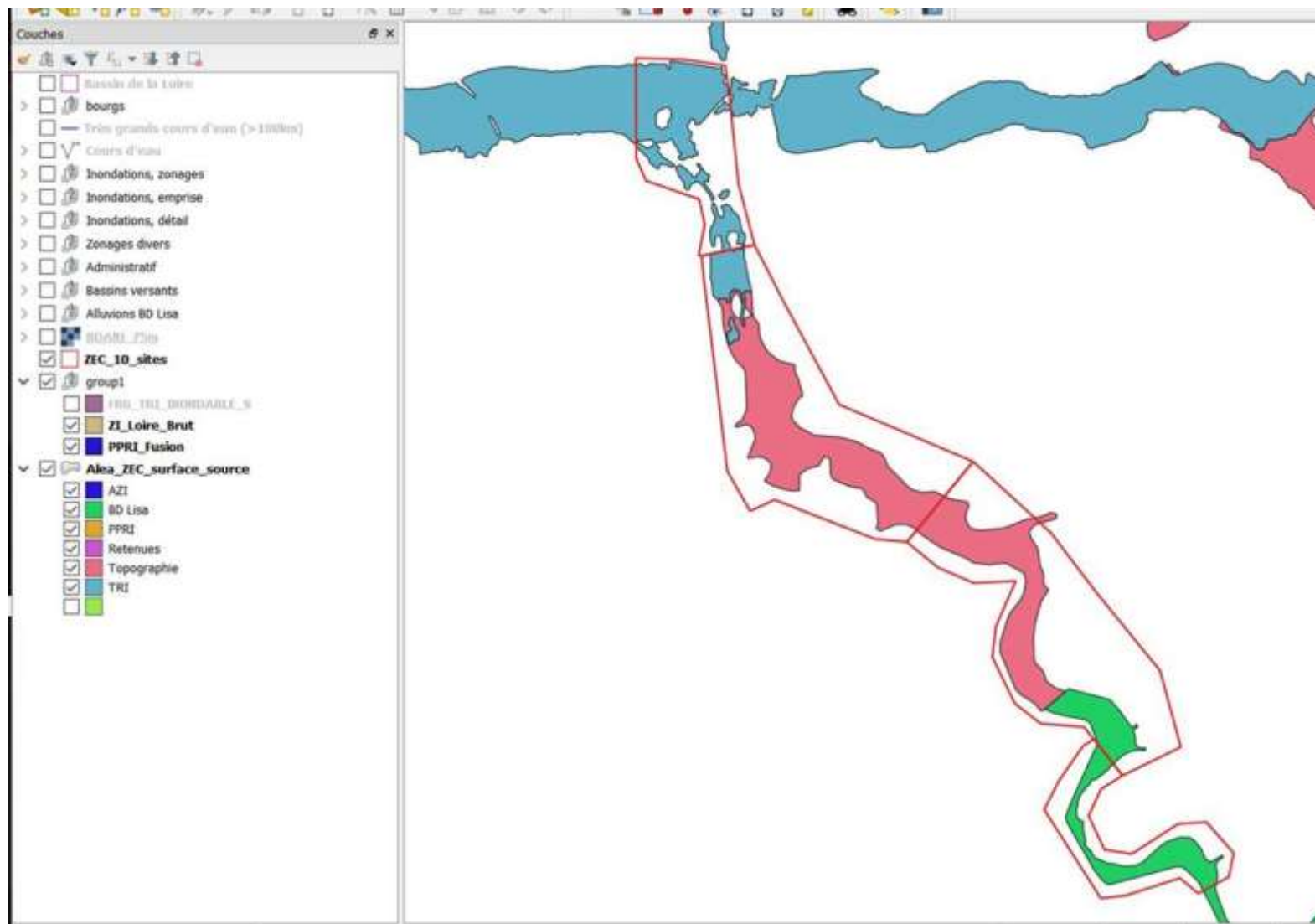




Figure 8 : Occupation du sol présente au sein et dans l'environnement de la ZEC potentielle en amont de Bourges

Bassin versant	Yèvre - Auron
Localisation	Zone naturelle et agricole en amont de Bourges
Hauteur moyenne pour la crue de référence	0,8
Surface calculée de la ZEC potentielle	Surface étudiée environ 90 ha (une partie de la ZEC identifiée au cours de la phase 2)
Volume estimé pour la crue de référence	De l'ordre de 1,7 Mm <sup>3</sup>
Occupation du sol dominante	95 % Prairies et 5 % agriculture
Synthèse des enjeux humains et sociétaux	Station d'épuration, écluses, digue du canal, quelques logements
Synthèse des enjeux patrimoniaux et naturels	Pas de zone remarquable
Linéaire étudié en aval de la ZEC potentielle	10 km
Sites et enjeux principaux impactés en aval	Zone industrielle et d'activités de Bourges
Nombre de tronçons étudiés en aval	3

Tableau 16 : Synthèse des éléments constitutifs de la ZEC potentielle en amont de Bourges

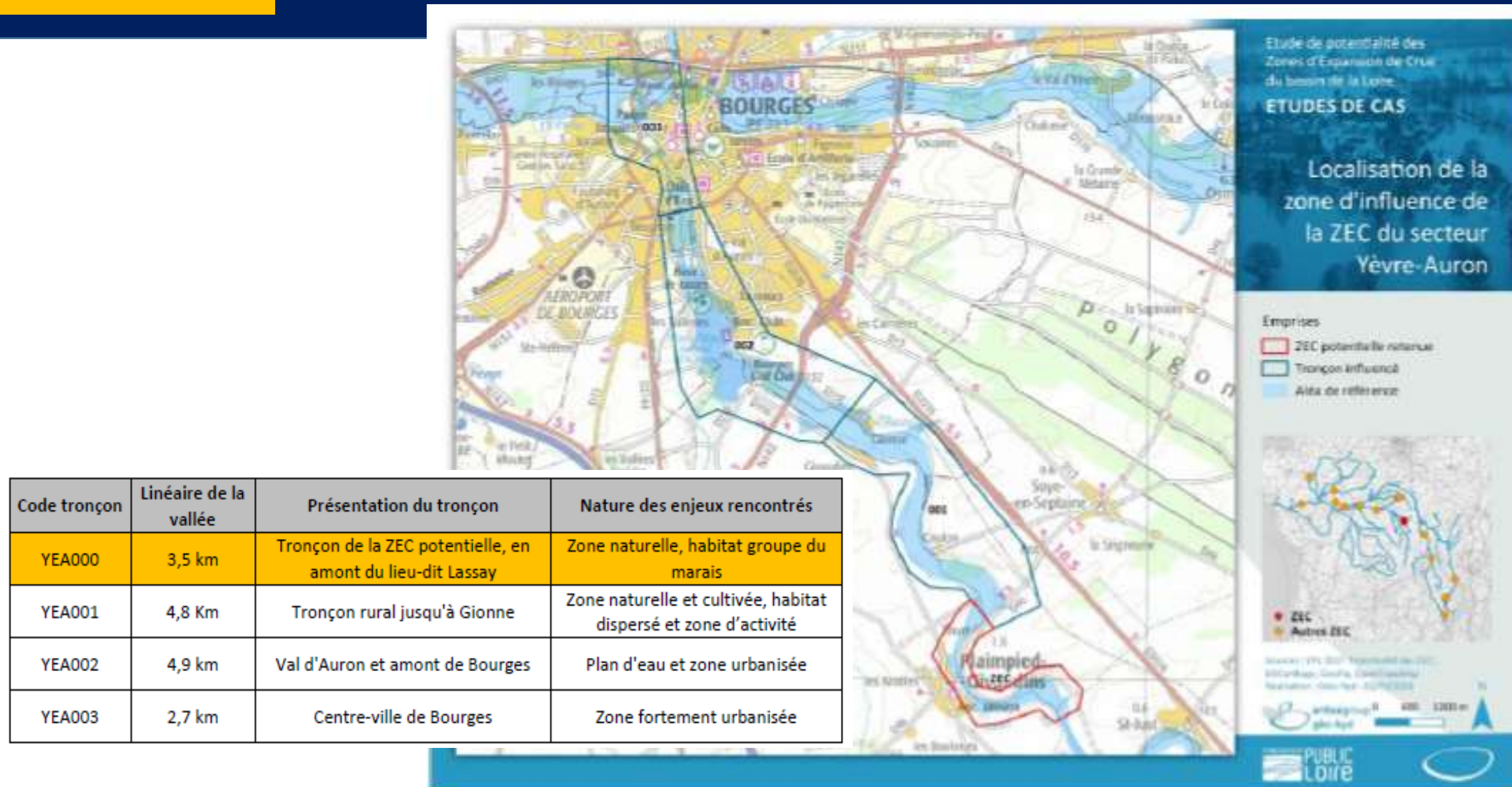


Figure 9 : Localisation des tronçons homogènes étudiés pour la ZEC potentielle en amont de Bourges

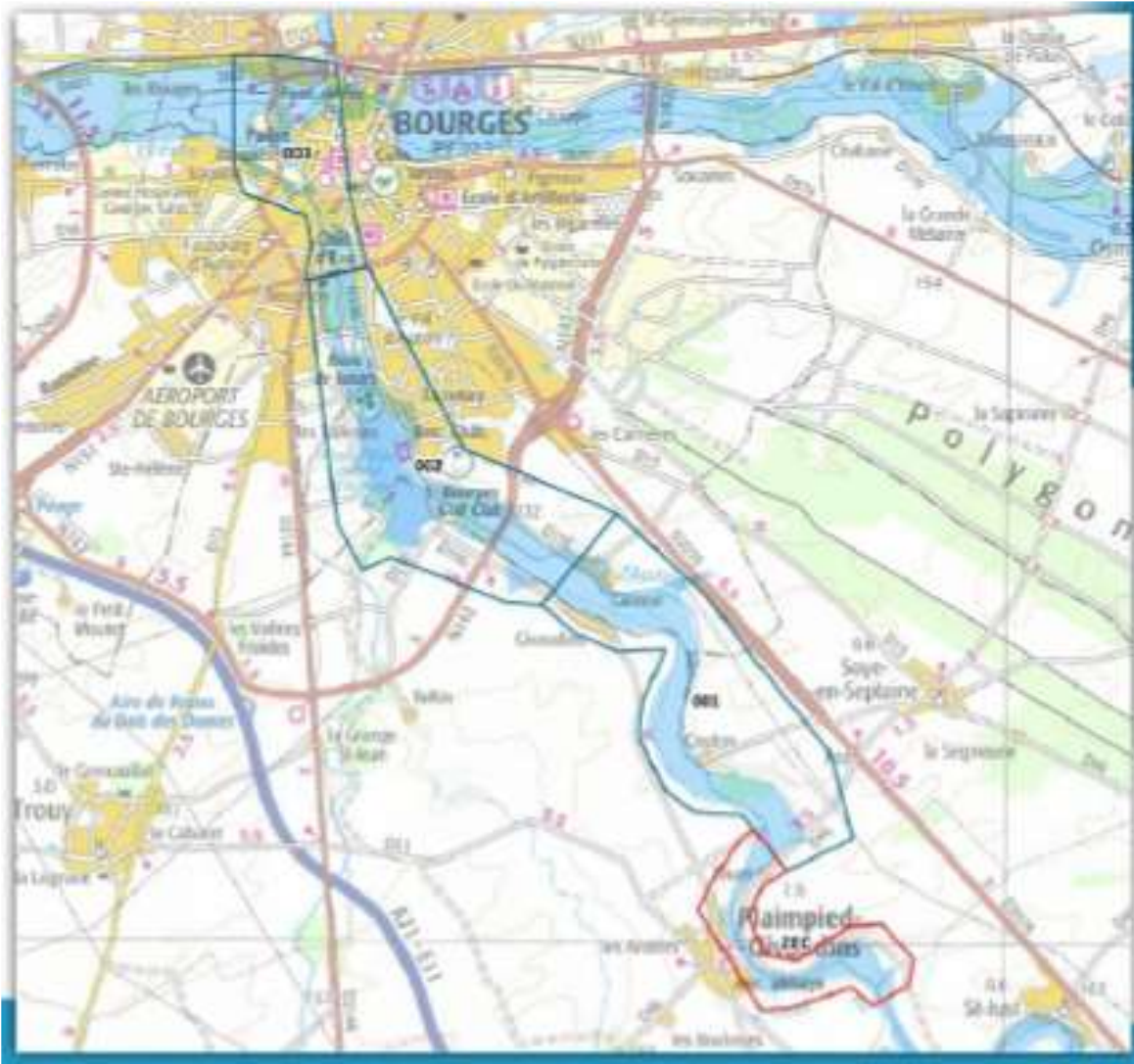


## Comparaison des volumes

Hauteur d'eau en m	Volume stocké en m <sup>3</sup>	Gain / Perte en volume par rapport à la crue de référence
-3,00	154 088	-1 459 947
-2,50	274 140	-1 339 895
-2,00	47 874	-797 669
-1,50	110 567	-734 976
-1,00	238 186	-607 357
-0,75	333 677	-511 866
-0,50	461 497	-384 046
-0,25	633 779	-211 764
<i>Crue de référence</i>	<b>845 543</b>	<b>0</b>
0,25	1 134 214	288 671
0,50	1 435 313	589 770
1,00	2 066 217	<b>1 220 674</b>
1,50	2 731 619	1 886 076

Tronçon / Variation de hauteur dans la ZEC potentielle	-1 m	-0,5 m	-0,25 m
YEA001	-1 521 455	-888 934	-469 110
YEA002	-3 808 351	-2 112 090	<b>-1 098 091</b>
YEA003	-4 942 668	-2 727 983	-1 416 788





**Scénario 1** : élévation théorique du niveau d'eau de + 0,5 m. dans la ZEC potentielle = abaissement de 0,25 m. dans le tronçon 1.

**Scénario 2** : élévation théorique du niveau d'eau de + 1 m. dans la ZEC potentielle = abaissement de 0,25 m. dans les 3 tronçons.

## Montant des dommages par scénarios

**Scénario 1** : élévation théorique du niveau d'eau de + 0,5 m. dans la ZEC potentielle = abaissement de 0,25 m. dans le tronçon 1.

Secteur	Population en Zone inondable	Nombre de logements	Nombre d'entreprises	Domages aux logements	Domages aux activités économiques	Domages agricoles	Domages Total
YEA000	11	5	1	261 927	75 505	2 344 262	2 681 694
YEA001	85	50	4	3 682 208	210 771	2 405 748	6 298 727
YEA002	350	208	36	6 775 997	2 884 849	2 265 218	11 926 064
YEA003	1 553	903	152	26 392 201	24 801 573	820 243	52 014 017
<b>TOTAL Domages</b>	<b>1 998</b>	<b>1 165</b>	<b>193</b>	<b>37 112 333</b>	<b>27 972 698</b>	<b>7 835 471</b>	<b>72 920 502</b>

Les dommages induits par la surélévation de la ligne d'eau de la ZEC potentielle ne sont pas compensés par la réduction de ces derniers (comparaison avec scénario initial = 72,8 M€)

**Scénario 2** : élévation théorique du niveau d'eau de + 1 m. dans la ZEC potentielle = abaissement de 0,25 m. dans les 3 tronçons.

Secteur	Population en Zone inondable	Nombre de logements	Nombre d'entreprises	Domages aux logements	Domages aux activités économiques	Domages agricoles	Domage Total
YEA000	21	9	1	547 409	75 505	2 532 746	3 155 660
YEA001	85	50	4	3 682 208	210 771	2 405 748	6 298 727
YEA002	301	179	24	5 199 185	2 756 478	2 149 438	10 105 101
YEA003	1 108	638	117	20 478 657	22 686 982	790 513	43 956 152
<b>TOTAL Domages</b>	<b>1 515</b>	<b>876</b>	<b>146</b>	<b>29 907 459</b>	<b>25 729 736</b>	<b>7 878 445</b>	<b>63 515 640</b>

Le montant global des dommages pour la crue de référence est significativement réduit et ramené à 63,5 M€)

## Estimation gains nets

**Scénario 1** : élévation théorique du niveau d'eau de + 0,5 m. dans la ZEC potentielle = abaissement de 0,25 m. dans le tronçon 1.

Secteur	Population en Zone inondable	Nombre de logements	Nombre d'entreprises	Domages aux logements	Domages aux activités économiques	Domages agricoles	Domages Total
DOMMAGE CRUE REF	1 990	1 162	193	37 374 969	27 938 301	7 492 523	72 805 793
DOMMAGE TOTAL	1 998	1 165	193	37 112 333	27 972 698	7 835 471	72 920 502
GAIN NET	-8	-4	0	262 636	-34 397	-342 948	-114 709

**Scénario 2** : élévation théorique du niveau d'eau de + 1 m. dans la ZEC potentielle = abaissement de 0,25 m. dans les 3 tronçons.

Secteur	Population en Zone inondable	Nombre de logements	Nombre d'entreprises	Domages aux logements	Domages aux activités économiques	Domages agricoles	Domages Total
DOMMAGE CRUE REF	1 990	1 162	193	37 374 969	27 938 301	7 492 523	72 805 793
DOMMAGE TOTAL	1 515	876	146	29 907 459	25 729 736	7 878 445	63 515 640
GAIN NET	475	286	47	7 467 510	2 208 565	-385 922	9 290 153